

HERLEITUNG:

$$R_M \cdot \bar{I}_M = U_M$$

$$R_P \cdot \bar{I}_P = U_P$$

$$U_M = U_P$$

$$R_M \cdot \bar{I}_M = R_P \cdot \bar{I}_P$$

$$I = \bar{I}_P + \bar{I}_M$$

$\Downarrow$

$$\bar{I}_P = I - \bar{I}_M$$

$$R_M \cdot \bar{I}_M = R_P (I - \bar{I}_M)$$

$\Downarrow$

$$R_P = \frac{R_M \cdot \bar{I}_M}{(I - \bar{I}_M)}$$

Meßbereichserweiterung beim Drehspulinstrument

In der täglichen Praxis sind Meßgeräte mit mehreren umschaltbaren Meßbereichen sehr vorteilhaft. Sie geben dem Anwender die gewünschte Flexibilität und gestatten die Messung niedriger und hoher Ströme oder Spannungen mit demselben Instrument. Eine derartige Meßbereichsumschaltung über weite Bereiche ist mit einfachen Mitteln nur beim Drehspulinstrument möglich und hat maßgebend zu dessen großer Verbreitung beigetragen.

- A) **Umschaltbare Strommeßbereiche.** Um mit einem Meßwerk noch einen den Meßbereich überschreitenden Strom I messen zu können, wird im Nebenschluß zum Meßwerk mit dem Widerstand R_M der Parallelwiderstand R_p gelegt. Der gesamte zu messende Strom I teilt sich jetzt auf in einen Strom durch das Meßwerk I_M und einen Strom I_p durch den Parallelwiderstand (Bild 2.11):

$$I = I_M + I_p. \quad (2.20)$$

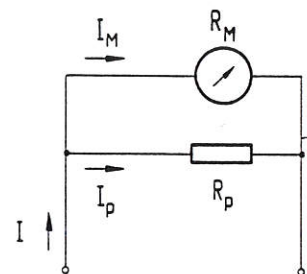


Bild 2.11: Erweiterung des Strommeßbereichs durch einen Parallelwiderstand R_p

Der Spannungsabfall an R_M ist ebenso groß wie der an R_p

$$R_M I_M = R_p I_p = R_p (I - I_M),$$

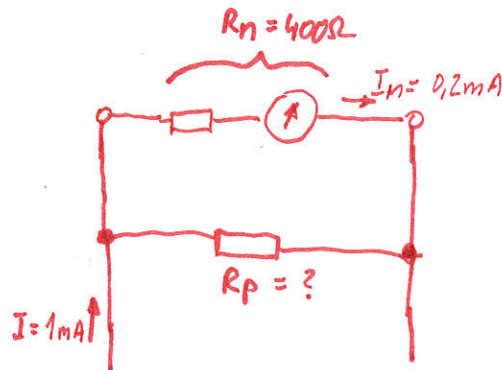
womit die Vorschrift zur Dimensionierung von R_p gewonnen ist:

$$R_p = R_M \frac{I_M}{I - I_M}. \quad (2.21)$$

- ➔ **Beispiel:** Hat das vorhandene Meßwerk, bestehend aus Spule und Vorwiderstand zur Temperaturkompensation, z.B. einen Widerstand $R_M = 400 \Omega$ und einen Vollausschlag bei $I_M = 0,2 \text{ mA}$, und soll ein Strom $I = 1 \text{ mA}$ gemessen werden, so ist ein Parallelwiderstand von

$$R_p = 400 \frac{0,2}{1 - 0,2} \Omega = 100 \Omega$$

erforderlich.



HERLEITUNG:

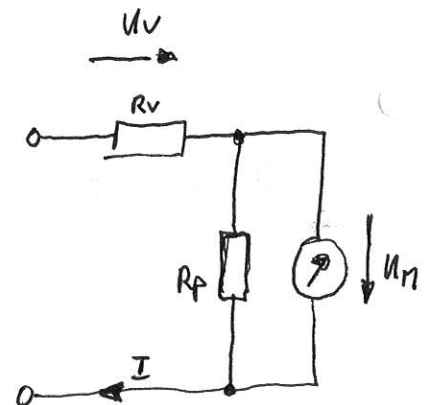
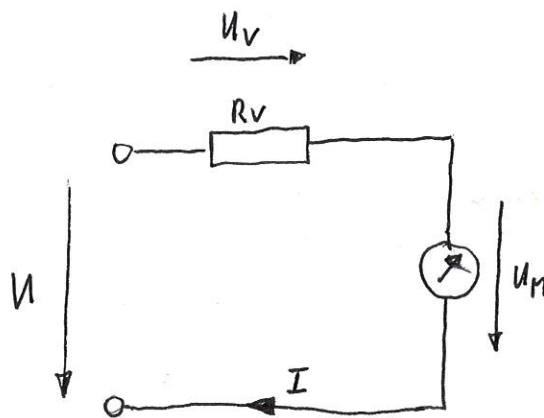
$$U = U_V + U_M$$

$$U = (I_m \cdot R_V) + (I_m \cdot R_M)$$

$$\frac{U - (I_m \cdot R_M)}{I_m} = R_V$$

$$\Rightarrow R_V = \frac{U}{I_m} - R_M$$

HERLEITUNG FÜR ANDRONUNG MIT R_P



$$U = U_V + U_M$$

$$U = (I \cdot R_V) + (I \cdot R_M)$$

MIT MESSGERÄTSEITEWEITERUNG

$$U = (I \cdot R_V) + (I \cdot \frac{R_P \cdot R_M}{R_P + R_M}) \Rightarrow U = I \left(R_V + \frac{R_P \cdot R_M}{R_P + R_M} \right)$$

$$\underline{\underline{R_V = \frac{U}{I} - \frac{R_P \cdot R_M}{R_P + R_M}}}$$

Auf diese Weise lassen sich Widerstände für weitere Meßbereiche ermitteln, die dann über einen Umschalter parallel zum Meßwerk gelegt werden können. Dabei ist die zunächst naheliegende Anordnung von Bild 2.12a ungeeignet. Hier liegen die Übergangswiderstände der Schaltkontakte in Reihe mit dem Parallelwiderstand und verfälschen das Verhältnis R_M/R_p . Besser ist, den für den niedrigsten Meßbereich erforderlichen Widerstand aufzuteilen und über einen im Hauptzweig sitzenden Schalter anzuwählen (Bild 2.12b). In unserem Beispiel wird der Widerstand von $100\ \Omega$ durch die vier Widerstände $90\ \Omega$, $9\ \Omega$, $0,9\ \Omega$ und $0,1\ \Omega$ gebildet. Die Übergangswiderstände des Kontakts beeinflussen nicht mehr die Stromaufteilung in der Parallelschaltung. Sie addieren sich lediglich zum Innenwiderstand der Quelle und zu dem Lastwiderstand im Stromkreis und sind diesen gegenüber zu vernachlässigen.

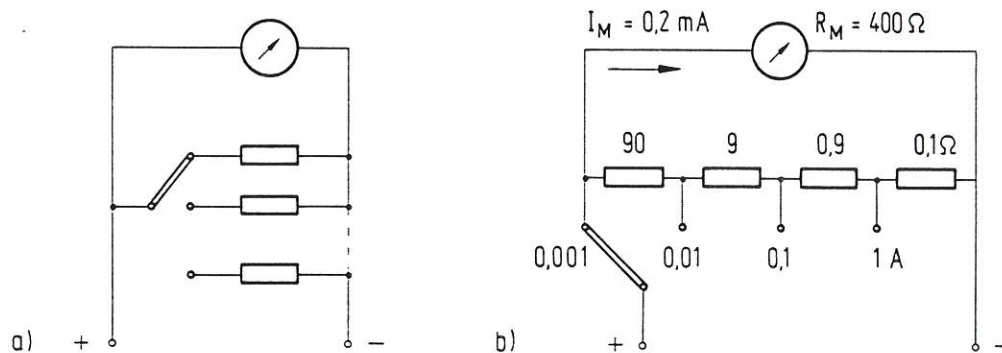


Bild 2.12: Umschaltung der Strommeßbereiche bei einem Drehspulinstrument

a) Die Kontaktwiderstände beeinflussen die Stromaufteilung

b) Die Kontaktwiderstände führen nicht zu Fehlern

→ **Beispiel:** Das Meßgerät von Bild 2.12 zeigt bei einem Strom $I_M = 0,2\ \text{mA}$ Vollausschlag. Ist ein Meßbereich von $100\ \text{mA}$ eingestellt, so liegen die Widerstände $(9 + 90 + 400)\ \Omega$ und $(0,9 + 0,1)\ \Omega$ parallel. Mit $I_p : I_M = 499 : 1$ und $I_M = 0,2\ \text{mA}$ wird $I_p = 99,8\ \text{mA}$. Wie beabsichtigt ist $I = I_M + I_p = 0,2\ \text{mA} + 99,8\ \text{mA} = 100\ \text{mA}$.

B) Umschaltbare Spannungsmeßbereiche. An dem Meßwerk unseres Beispiels mit einem Meßbereich von $1\ \text{mA}$ liegt bei Vollausschlag die Spannung U_M von

$$U_M = 1\ \text{mA} \cdot (400\ \Omega \parallel 100\ \Omega) = 80\ \text{mV}. \quad = 1\ \text{mA} \cdot \frac{400\ \Omega \cdot 100\ \Omega}{500\ \Omega}$$

Um höhere Spannungen messen zu können, wird ein Vorwiderstand verwendet. Die gesamte zu messende Spannung U fällt dann mit U_v am Vorwiderstand und mit U_M am Meßwerk ab (Bild 2.13):

$$U = U_v + U_M = R_v I + (R_p \parallel R_M) I. \quad (2.22)$$

Indem die letzte Gleichung umgestellt wird, ergibt sich die Rechenvorschrift zur Dimensionierung von R_v :

$$R_v = \frac{U}{I} - (R_p \parallel R_M) \quad R_v = \frac{U}{I} - \frac{R_p \cdot R_M}{R_p + R_M} \quad (2.23)$$

Um mit unserem Meßwerk 100 mV zu messen, ist also ein Vorwiderstand von

$$R_v = \frac{100 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} - 80 \Omega = 20 \Omega$$

erforderlich.

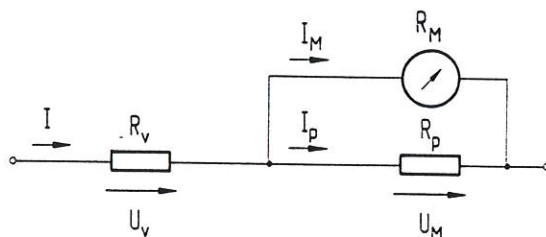


Bild 2.13: Erweiterung des Spannungsmeßbereichs durch einen Vorwiderstand R_v

Auf dieselbe Weise werden die Vorwiderstände für weitere Spannungsmeßbereiche berechnet. Für den Meßbereich 1 V ist bei einer Stromaufnahme von 1 mA ein Gesamtwiderstand von 1000 Ω erforderlich. Da jedoch für den 0,1-V-Meßbereich schon 100 Ω vorhanden sind, wird zusätzlich nur noch ein Widerstand von 1000 $\Omega - 100 \Omega = 900 \Omega$ benötigt (Bild 2.14).

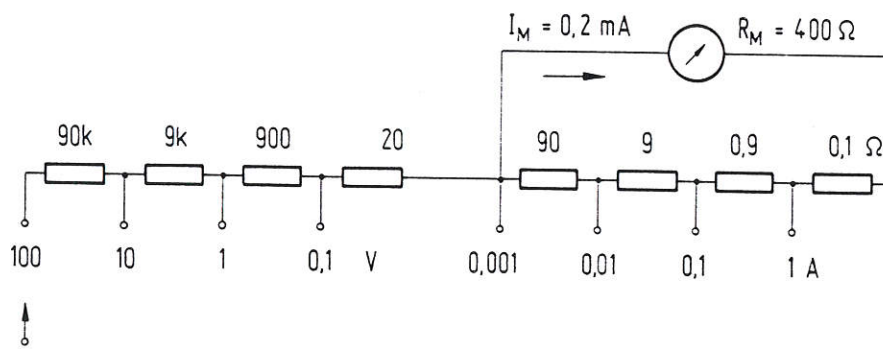


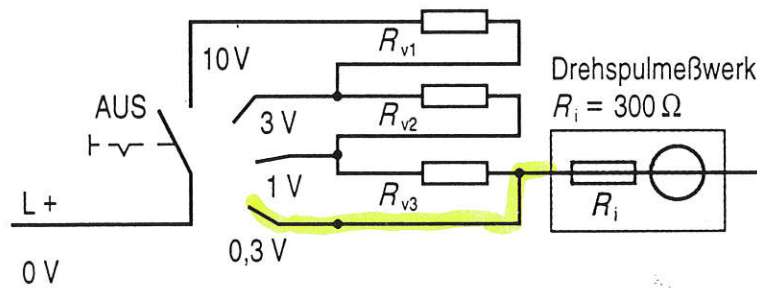
Bild 2.14: Drehspulinstrument mit umschaltbaren Strom- und Spannungsmeßbereichen

Die Spannungsmesser messen nur dann rückwirkungsfrei, wenn ihr Innenwiderstand genügend hoch ist. Dieser wird von den Herstellern auf den Meßbereichsendwert bezogen. Die Angabe 1 k Ω /V z.B. bedeutet, daß – unabhängig von dem Ausschlag des Zeigers – im 100 V Meßbereich ein Widerstand von 100 k Ω zwischen den Geräteklemmen liegt.

KENNWIDERSTAND

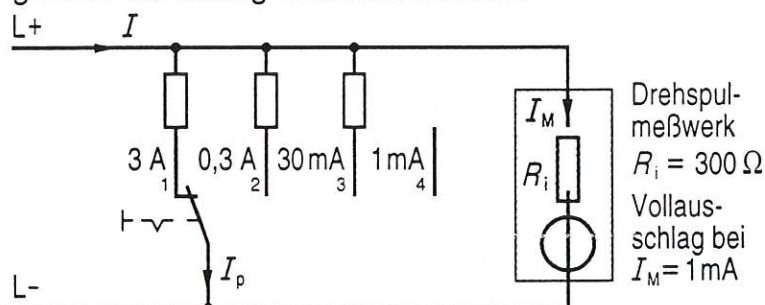
BEISPIELAUFGABE:**Meßbereichserweiterung**

Der Spannungsmessbereich eines Meßgerätes soll mit folgender Schaltung erweitert werden:



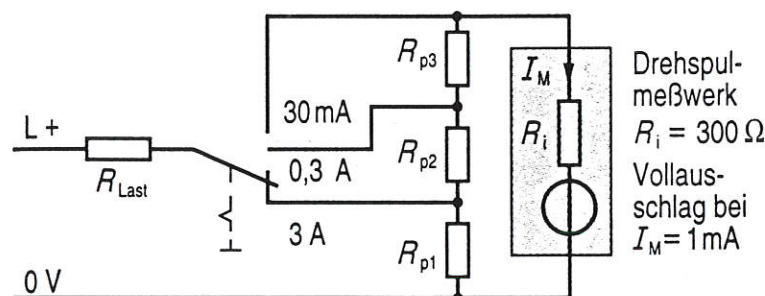
a) Berechnen Sie die drei Vorwiderstände.

Der Strommessbereich eines Meßgerätes soll mit folgender Schaltung erweitert werden:



b) Berechnen Sie die drei Nebenwiderstände. Welche Gefahr für das Meßwerk besteht beim Umschalten?

Der Strommessbereich eines Meßgerätes soll mit folgender Ringschaltung erweitert werden:



c) Berechnen Sie die drei Ringwiderstände.

▽
6

ALTERNATIVLÖSUNG:

$$R_p = R_m \cdot \frac{I_m}{I - I_m}$$

$$R_{p1} = 300\Omega \cdot \frac{1mA}{3000mA - 1mA} = 300\Omega \cdot \frac{1mA}{2999mA}$$

$$R_{p1} = \underline{\underline{0,1\Omega}}$$

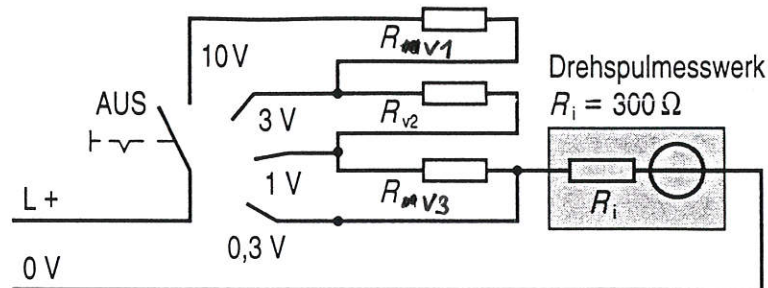
$$R_{p2} = 300\Omega \cdot \frac{1mA}{300mA - 1mA} = 300\Omega \cdot \frac{1mA}{299mA}$$

$$R_{p2} = \underline{\underline{1\Omega}}$$

$$R_{p3} = 300\Omega \cdot \frac{1mA}{30mA - 1mA} = 300\Omega \cdot \frac{1mA}{29mA}$$

$$R_{p3} = \underline{\underline{10,34\Omega}}$$

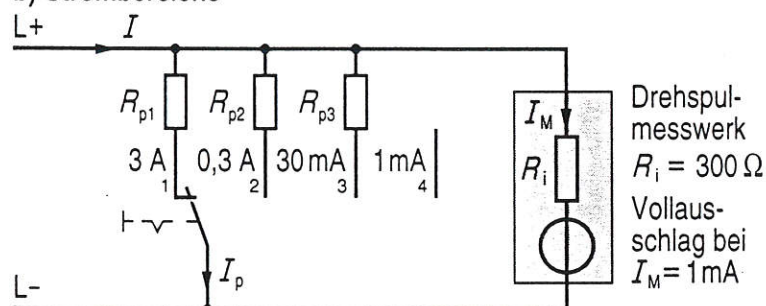
a) Spannungsbereiche


 Eigenmessbereich: $U_M = 0,3V$

 Messstrom bei Vollausschlag: $I_M = \frac{U_M}{R_i} = \dots = 1mA$ $I_M = \frac{0,3V}{300\Omega} = 1mA$

 Vorwiderstände: $R_{v3} = \frac{U_3 - U_M}{I_M} = \frac{1V - 0,3V}{1mA} = 700\Omega$
 $R_{v2} = \frac{U_2 - U_3}{I_M} = \frac{3V - 1V}{1mA} = 2k\Omega$
 $R_{v1} = \frac{U_1 - U_2}{I_M} = \frac{10V - 3V}{1mA} = 7k\Omega$

b) Strombereiche


 Eigenmessbereich: $U_M = 0,3V$

 Parallelwiderstände: $R_{p1} = \frac{U_M}{I_1 - I_M} = \frac{0,3V}{3A - 1mA} = 0,1\Omega$
 $R_{p2} = \dots = 1\Omega$ $R_{p3} = \dots = 10,34\Omega$

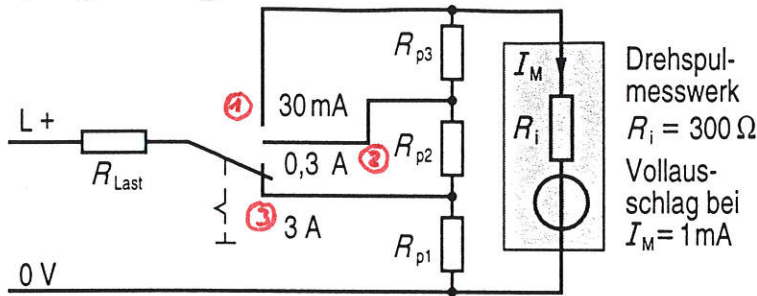
Wird während des Umschaltens von einem auf den anderen Messbereich der Parallelzweig unterbrochen, so fließt der gesamte Strom über das sehr empfindliche Messwerk. Die Drehspule bzw. Spiralfedern (Stromzufuhr) können dabei zerstört werden. Die Umschaltung muss deshalb über unterbrechungsfreie Kontakte erfolgen. Für handelsübliche Strommesser wird allerdings zur Messbereichserweiterung die Ringschaltung eingesetzt, bei der diese Gefahr nicht besteht.

$$U_M = R_i \cdot I_M$$

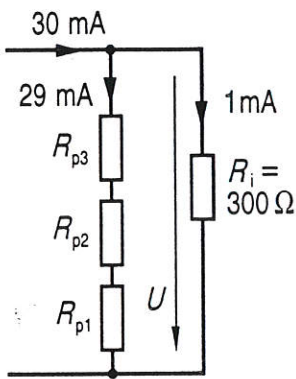
$$U_M = 300\Omega \cdot 1mA$$

$$U_M = 0,3V$$

c) Ringschaltung



Die Schaltung enthält drei unbekannte Widerstände, die je nach Messbereich in verschiedenen Kombinationen geschaltet sind.
Die Berechnung der drei unbekannten Widerstände erfolgt über ein Gleichungssystem mit drei Gleichungen.



Gleichung 1 ①

Die Spannung U ist an beiden Zweigen gleich, daraus folgt:

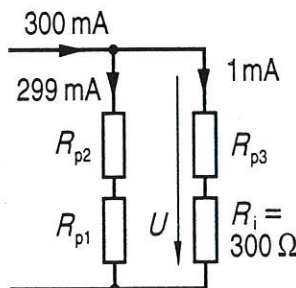
$$29 \text{ mA} \cdot (R_{p1} + R_{p2} + R_{p3}) = 1 \text{ mA} \cdot 300 \Omega$$

Daraus folgt:

$$29 R_{p1} + 29 R_{p2} + 29 R_{p3} = 300 \Omega$$

$$U_M = I_M \cdot R_i$$

$$U_M = 0,3 \text{ V}$$

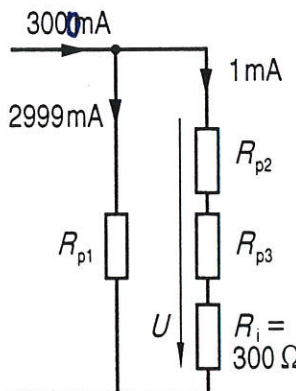


Gleichung 2 ②

$$299 \text{ mA} \cdot (R_{p1} + R_{p2}) = 1 \text{ mA} \cdot (R_{p3} + 300 \Omega)$$

Daraus folgt:

$$299 R_{p1} + 299 R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$



Gleichung 3 ③

$$2999 \text{ mA} \cdot R_{p1} = 1 \text{ mA} \cdot (R_{p2} + R_{p3} + 300 \Omega)$$

Daraus folgt:

$$2999 R_{p1} - R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$

Das Gleichungssystem

$$29 R_{p1} + 29 R_{p2} + 29 R_{p3} = 300 \Omega$$

$$299 R_{p1} + 299 R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$

$$2999 R_{p1} - R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$

hat die Lösungen: $R_{p1} = 0,103 \Omega$

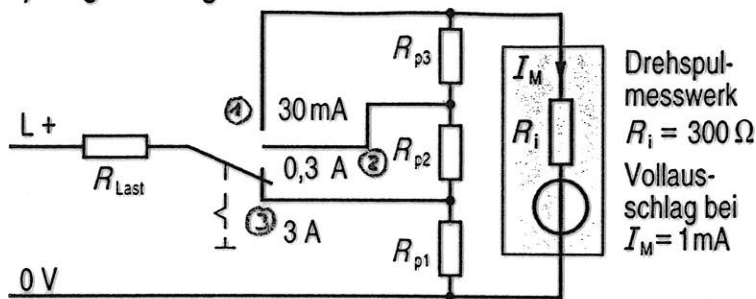
$$R_{p2} = 0,931 \Omega$$

$$R_{p3} = 9,310 \Omega$$

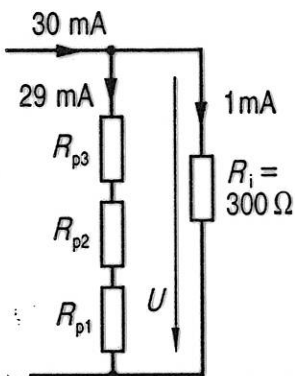
Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt z.B. mit Hilfe von Determinanten oder mit einem Computerprogramm.

=> SIEHE FOLGESEITEN

c) Ringschaltung



Die Schaltung enthält drei unbekannte Widerstände, die je nach Messbereich in verschiedenen Kombinationen geschaltet sind. Die Berechnung der drei unbekannten Widerstände erfolgt über ein Gleichungssystem mit drei Gleichungen.



Gleichung 1 ①

Die Spannung U ist an beiden Zweigen gleich, daraus folgt:

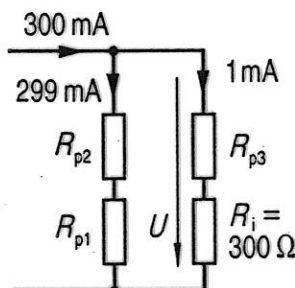
$$29 \text{ mA} \cdot (R_{p1} + R_{p2} + R_{p3}) = 1 \text{ mA} \cdot 300 \Omega$$

Daraus folgt:

$$29 R_{p1} + 29 R_{p2} + 29 R_{p3} = 300 \Omega$$

$$U_M = I_M \cdot R_i$$

$$U_M = 0,3 \text{ V}$$

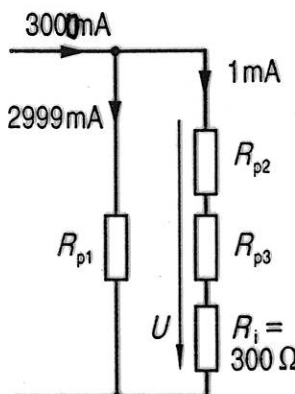


Gleichung 2 ②

$$299 \text{ mA} \cdot (R_{p1} + R_{p2}) = 1 \text{ mA} \cdot (R_{p3} + 300 \Omega)$$

Daraus folgt:

$$299 R_{p1} + 299 R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$



Gleichung 3 ③

$$2999 \text{ mA} \cdot R_{p1} = 1 \text{ mA} \cdot (R_{p2} + R_{p3} + 300 \Omega)$$

Daraus folgt:

$$2999 R_{p1} - R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$

Das Gleichungssystem

$$29 R_{p1} + 29 R_{p2} + 29 R_{p3} = 300 \Omega$$

$$299 R_{p1} + 299 R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$

$$2999 R_{p1} - R_{p2} - R_{p3} = 300 \Omega$$

hat die Lösungen: $R_{p1} = 0,103 \Omega$

$$R_{p2} = 0,931 \Omega$$

$$R_{p3} = 9,310 \Omega$$

Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt z.B. mit Hilfe von Determinanten oder mit einem Computerprogramm.

⇒ SIEHE FOLGENSEITEN

19.3.98

LÖSUNG

$$\begin{aligned} R_{P1} &= 0,103 \Omega \\ R_{P2} &= 0,931 \Omega \\ R_{P3} &= 9,310 \Omega \end{aligned}$$

VEGA

$$29 R_{P1} + 29 R_{P2} + 29 R_{P3} = 300 \Omega$$

$$299 R_{P1} + 299 R_{P2} + R_{P3} = 300 \Omega$$

$$2999 R_{P2} + R_{P2} - R_{P3} = 300 \Omega$$

$$D = \begin{vmatrix} 29 & 29 & 29 \\ 299 & 299 & -1 \\ 2999 & -1 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 29 & 0 & 29 \\ 299 & 300 & -1 \\ 2999 & 0 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 87000 & 0 & 29 \\ -2700 & 300 & -1 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

+ $\uparrow$ $\cdot (-1)$ $\downarrow$ + $\uparrow$ $\cdot (2999)$ $\downarrow$

3. SPALTE $\cdot (-1)$ UND ZUR 2. SPALTE ADDIEREN

$$D = \begin{vmatrix} 87000 & 0 \\ -2700 & 300 \end{vmatrix} = (87000 \cdot 300) - (0 \cdot (-2700)) = -26100000$$

DETERMINANTEN-VORZEICHEN-REGEL
BEACHTEN

$$D_{R_{P1}} = \begin{vmatrix} 300 & 29 & 29 \\ 300 & 299 & -1 \\ 300 & -1 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 300 & 0 & 29 \\ 300 & 300 & -1 \\ 300 & 0 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 9000 & 0 & 29 \\ 0 & 300 & -1 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$\uparrow$ $\cdot (-1)$ $\downarrow$ $\uparrow$ $\cdot 300$ $\downarrow$

$$D_{R_{P1}} = (9000 \cdot 300) - (0 \cdot 0) = -2700000$$

$$\underline{R_{P1}} = \frac{D_{R_{P1}}}{D} = \frac{-2700000}{-26100000} = \underline{0,103}$$

19.3.98

VEGA

Wieder $R_{P1} = 0,103 \text{ DAU}$

$299 \cdot R_{P1} + 2$

$$D_{RP2} = \begin{vmatrix} 24 & 300 & 29 \\ 299 & 300 & -1 \\ 2994 + 300 & -1 & \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 24 & 9000 & 24 \\ 299 & 0 & -1 \\ 2999 & 0 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} 87000 & 9000 & 24 \\ -2700 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$\uparrow 300$ $\uparrow +2999$

$$D_{RP2} = (87000 \cdot 0) - (-2700 \cdot 9000) = 24300000$$

$$\underline{R_{P2}} = \frac{D_{RP2}}{D} = \frac{24300000}{26100000} = \underline{0,931 \Omega}$$

$R_{P3} = 294$

$$29 R_{P3} = 300 \Omega - 29 R_{P1} - 29 R_{P2}$$

$$29 R_{P3} = 300 \Omega - 2,987 \Omega - 26,999 \Omega$$

$$\underline{R_{P3}} = \frac{270 \Omega}{29} = \underline{9,31 \Omega}$$

3.6 Strom-Spannungs-Umformung mit Meßwiderständen

Die Aufgabe der proportionalen Umformung eines Meßstromes I in eine Spannung U stellt sich ganz allgemein bei der Messung des zeitlichen Verlaufs eines Stromes mit Hilfe eines Oszillographen, da dieser gewöhnlich nur Spannungseingänge besitzt; die gleiche Aufgabe stellt sich auch bei der Messung hoher Gleichströme, die direkt nicht mehr gemessen werden können.

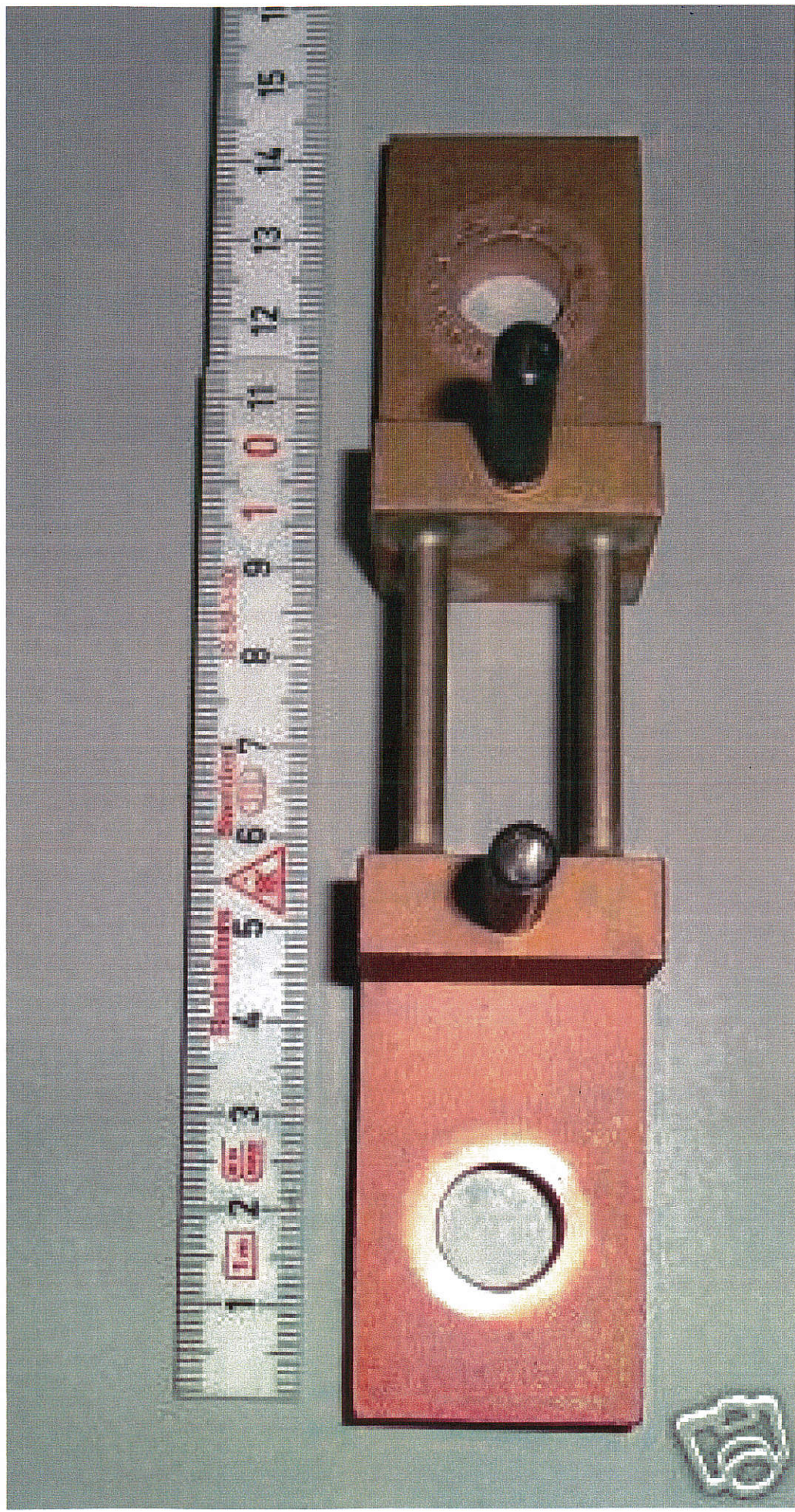
Die Güte der Umformung gemäß $U = R \cdot I$ hängt von der Präzision des Widerstandes R ab. Dieser Widerstandswert soll nicht nur möglichst exakt abgeglichen, sondern außerdem weitgehend unabhängig

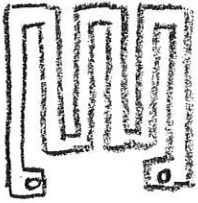
- vom Meßstrom (Eigenerwärmung),
- von der Umgebungstemperatur (Fremderwärmung),
- von der Anschlußtechnik,
- von Alterungseffekten und
- von der Betriebsfrequenz

sein. Daneben sind eine möglichst geringe Thermospannung gegen Kupfer und ein vergleichsweise hoher spezifischer Widerstand wünschenswert. Reine Metalle sind vorwiegend wegen des zu hohen Temperaturkoeffizienten von etwa $4 \cdot 10^{-3}/\text{K}$, teilweise auch wegen des zu geringen spezifischen Widerstandes, als Werkstoff für Meßwiderstände ungeeignet.

Bei vergleichsweise niedrigen Anforderungen verwendet man Kohle- oder Metallschichtwiderstände; ebenso für hochohmige Meßwiderstände, die dann gewandelt oder

SHUNT





mäanderförmig ausgeführt werden. Eine Abgleichtoleranz und Langzeitstabilität von 0,5 %, bestenfalls 0,1 %, wird dabei erreicht. Widerstandswerte von ca. 10 Ω bis über 10 M Ω sind realisierbar.

Bei höheren Anforderungen an die Genauigkeit und bei niederohmigen Widerständen bieten sich Drähte oder Stäbe aus bestimmten Metallegierungen an. Seit vielen Jahrzehnten hat sich Manganin als Widerstandswerkstoff sehr gut bewährt. Gute Alternativen stellen die Legierungen Isaohm und Konstantan dar. Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes dieser Widerstandslegierungen von der Temperatur verläuft näherungsweise parabelförmig. Der Parabelscheitel liegt dabei gewöhnlich bei Temperaturen zwischen 30 °C und 50 °C (Bild 7.1).

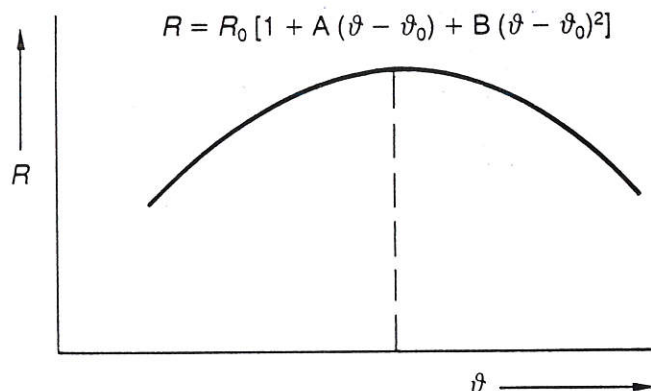


Bild 7.1. Typische Temperaturabhängigkeit von Legierungen für Präzisionswiderstände.

Der Betrag der relativen Widerstandsänderung liegt in einem Temperaturbereich von -20°C bis $+80^{\circ}\text{C}$ im Mittel bei einigen $10^{-5}/\text{K}$. In der Umgebung des Extremums sind die temperaturbedingten Widerstandsänderungen sogar noch kleiner.

Manganin enthält 86 % Cu, 12 % Mn und 2 % Ni, besitzt einen spezifischen Widerstand von $0,43 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, eine sehr

METALLLEGIERUNGEN FÜR MESSWIDERSTÄNDE:

LEGIERUNG	ZUSAMMENSETZUNG	SPEZIF. WIDERST. $\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$	THERMOSP. $\rightarrow$ CU $\left[\text{mV/K} \right]$	WEITERE VERÄNDERUNG
MANGANIN	86% Cu; 12% Mn 2% Ni	0,43	$\approx 1,0$	LÖTLBAR
ISAHEM	71% Ni; 21% Cr SONSTIGE ZUSÄTZE	1,32	$< 1,0$	NICHT LÖTLBAR
KONSTANTAN	54% Cu; 45% Ni 1% Mn	0,5	40,0	SCHLECHT LÖTLBAR

kleine Thermospannung von etwa $1 \mu\text{V/K}$ gegen Cu und ist lötbar. Wegen der geringen Zugfestigkeit beträgt der kleinste ziehbare Drahtdurchmesser etwa 0,05 mm; das entspricht einem Widerstand von $219 \Omega/\text{m}$.

Isaohm enthält 71 % Ni, 21 % Cr und verschiedene Zusätze, besitzt einen spezifischen Widerstand von etwa $1,32 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, ebenfalls eine sehr kleine Thermospannung von weniger als $1 \mu\text{V/K}$ gegen Cu, ist jedoch im Gegensatz zu Manganin nicht lötbar. Wegen der höheren Zugfestigkeit sind Drähte bis zu einem kleinsten Durchmesser von 0,02 mm herstellbar; das entspricht einem Widerstand von $4200 \Omega/\text{m}$. Die höchste zulässige Betriebstemperatur beträgt 400°C .

Konstantan enthält 54 % Cu, 45 % Ni und 1 % Mn, besitzt einen spezifischen Widerstand von etwa $0,5 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, eine leider sehr hohe Thermospannung von etwa $40 \mu\text{V/K}$ gegen Cu und ist nur schlecht lötbar.

Die zulässige Eigenerwärmung von Meßwiderständen richtet sich nach den Anforderungen und liegt gewöhnlich mehrere K, im Ausnahmefall sogar mehrere 10 K über der Umgebungstemperatur. Welche Leistung dabei im Meßwiderstand umgesetzt werden darf, hängt sehr stark von der Oberfläche des Meßwiderstandes ab. Es ist vorteilhaft, die Konstruktion hochbelastbarer Meßwiderstände so zu wählen, daß Luftzirkulation gewährleistet ist.

Gewickelte Meßwiderstände mit hoher Langzeitkonstanz müssen bei etwa 150°C ungefähr 10 h gealtert werden, damit sich die beim Wickeln entstandenen mechanischen Spannungen abbauen können. Langzeitschwankungen von weniger als 10^{-4} sind auf diese Weise erreichbar.

Beim Betrieb von Meßwiderständen bei höheren Frequenzen muß in erster Linie auf geringe Eigeninduktivität, aber auch auf geringe Eigenkapazität geachtet werden. Wicklungen auf flachen Wicklungsträgern besitzen geringere In-

duktivitäten als auf zylindrischen Trägern. Bifilare Wicklungen vermindern die Eigeninduktivität sehr stark. Um gleichzeitig geringe Eigenkapazität zu erzielen, sind spezielle Wicklungsarten, wie z. B. die Chaperon-Wicklung, zu empfehlen.

Niederohmige Meß-Widerstände müssen in Vierleitertechnik ausgeführt werden, damit der Einfluß von Übergangs- und Zuleitungswiderständen genügend klein gehalten werden kann. Nach Bild 7.2 fließt der Meßstrom I durch die konstruktiv außen liegenden Stromklemmen, während an den innen angeordneten Spannungsklemmen (Potentialklemmen) die eigentliche Meßspannung U abgegriffen wird.

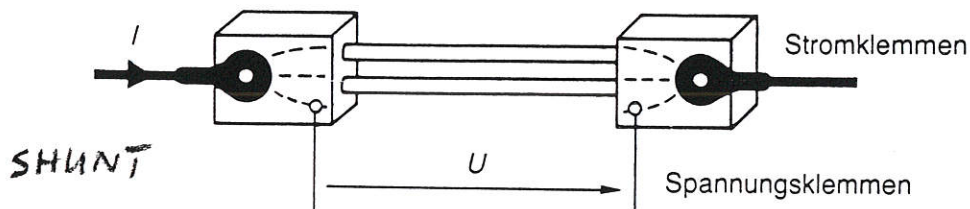


Bild 7.2. Niederohmiger Meßwiderstand in Vierleitertechnik.

Der Meßwiderstand $R = U/I$ wird damit unabhängig von Übergangs- und Zuleitungswiderständen, die außerhalb der Potentialklemmen wirksam sind. Lediglich eine veränderte Stromverteilung durch unterschiedliche Kontaktwiderstände könnte den wirksamen Meßwiderstand beeinflussen. Dem wird aber durch Anschlußstücke aus Cu mit hoher Leitfähigkeit entgegengewirkt.

